

직류(DC)배전 동향 및 안전대책

이 경 호

(삼성물산 건설부문 친환경에너지연구소 부장)

1. 개요

백여년전 에디슨과 테슬라사이에 직류와 교류의 전기시스템에 대한 논쟁이 있던 후, 현재에 이르기까지 교류시스템이 채택되어 사용되어 왔다. 그러나 현재에는 전력전자기술의 발달로 직류의 변압 및 변성까지 가능하게 되어 과거 교류시스템이 가지는 장점이 상대적으로 저감되었다. IT관련 기기를 포함하여 다수의 전기기기(TV, AV기기, PC, FAX 등)들은 교류를 직류로 변환하고 다시 교류로 변환하므로써 이중의 변환 손실을 발생시킨다. 직류배전시스템은 전기기기들마다 사용되는 작은 어댑터들을 한 덩어리로 재배치함으로써 효율의 향상을 기대할 수 있다.⁽¹⁾ 또한 최근 급증하는 신재생에너지의 대부분은 직류를 기반으로 하고 있으므로 직류배전시스템이 교류배전시스템보다 에너지의 효율을 높임으로서 온실가스 배출저감에도 도움이 될 수 있다. 최근 녹색전력IT 분야에 직류배전이 주목을 받고 있으며, 당사가 추진 중인 Green Tomorrow(Zero Energy House)에 직류배전기술을 도입하여 시스템구축 중에 있다. 본고에서는 직류배전에 대한 기술동향과 안전대책에 대하여 설명하고자 한다.

2. 직류배전의 장점⁽²⁾

직류배전의 개념(비동기방식)은 새로운 것은 아니며, 최근

들어 도입이 증가되는 직류배전시스템은 다음과 같은 장점 때문에 전기에너지 사용의 효율적 사용을 가능하게 한다.

2.1 신재생에너지와 연계

직류 신재생에너지원은 직류배전에 보다 더 쉽게 연계될 수 있으며 변환단계를 생략함으로써 2.5%에서 10%정도 발전된 에너지의 손실을 줄일 수 있다.

2.2 신뢰성과 무정전공급

신뢰성 있는 전원을 요구하는 정보통신기기들은 교류전원 정전시 중단없이 전기를 공급하기 위하여 직류전원을 사용하여야 한다. 원자력발전소에서는 가장 신뢰성이 높은 전원(Premium Power)인 안전등급1급을 직류전원으로 사용하고 있다.

2.3 전압안정성

직류와 교류가 공존한다면 직류배전은 전압안정성을 경감시키거나 악화시키지 않는다. 또한 입력단계에서 직류역률이 1일뿐만 아니라 교류전압을 제어하고 전압 안정성을 유지하기 위하여 무효전력을 공급할 수도 있다.

2.4 조명과 전자기기의 연계

형광등 및 LED조명의 안정기는 직류전원을 수용할 수 있는

며 교류에서 직류로 변환단계를 생략할 수 있으므로 에너지를 절약 할 수 있다. 같은 맥락으로 가정 및 사무용 전자기기의 경우 정류손실의 감소를 통하여 효율을 향상시킬 수 있다.

2.5 전동기 가변속제어

입력과 출력을 일치시키는 전동기 가변속제어는 직류원으로 쉽게 구현할 수 있으므로 에너지효율을 개선할 수 있다.

2.6 전력품질

전력전자기기의 사용증가는 교류전력의 품질(고조파 등)을 악화시킬 수 있지만, 직류전원을 사용함으로써 역률개선과 우수한 전력품질을 유지할 수 있다. 향후 직류배전이 UPS를 대체할 것이다.

2.7 인체안전

인체안전상 저압의 경우 직류가 교류보다 안전하다는 관점에서 직류의 사용을 촉진할 수 있다.

3. 국내외동향

미국전력연구원(EPRI)에서는 디지털 전력부하가 2020년 까지 전체부하의 50%까지 증가될 것을 예상하고 있고 차세대광원인 LED조명도 향후 주광원으로 활용이 예상되고 있다. 신재생에너지원인 태양광, 풍력, 연료전지 등도 직류기반의 발전원이며 첨단IT 관련장비들이 직류기반 부하원으로서 변환효율을 개선할 수 있는 직류기반 전원체계 구축이 요구되고 있다.

3.1 국내

경원대, 건국대를 주축으로 직류배전의 주택적용에 관한 기초연구가 수행되었으며, 2008년 KT 남수원 인터넷데이터센터(IDC)에 직류배전을 적용하여 13.2%의 효율향상을 실증한 바 있다.^[3] 현재 에너지효율 향상을 위하여 당사 제로에너지하우스에 직류배전을 적용한 프로젝트를 수행하고 있다.

3.2 미국

로렌스버클리연구소(LBNL)에서 IDC 380V DC배전시스템으로 10-15% 효율향상 실험을 실시하였다.

3.3 유럽

스웨덴, 네덜란드, 벨기에에서는 오피스 및 주택분야 적용을 위한 DC빌딩, DC홈(그림 1 참고[4])의 개념안 및 신재생에너지 적용방안에 대하여 활발하게 연구를 진행하고 있다.

직류를 사용함으로써 에너지이용효율이 높아지는 것과 함께 태양광발전이나 에너지 축적시스템과의 친화성이 높은

점, 유지관리 부담이 억제되는 점 등을 기대하고 있다.

3.4 일본

전기기에 필요한 전력을 직류로 공급하는 직류배전의 도입이 최근 들어 다양한 분야에 활기를 띠고 있다.(그림 2) 특히 2008년 일본의 이토추기술(CTC)은 직류배전을 도입한 데이터센터를 가동한 것 외에, 여러 서버업체가 직류배전에

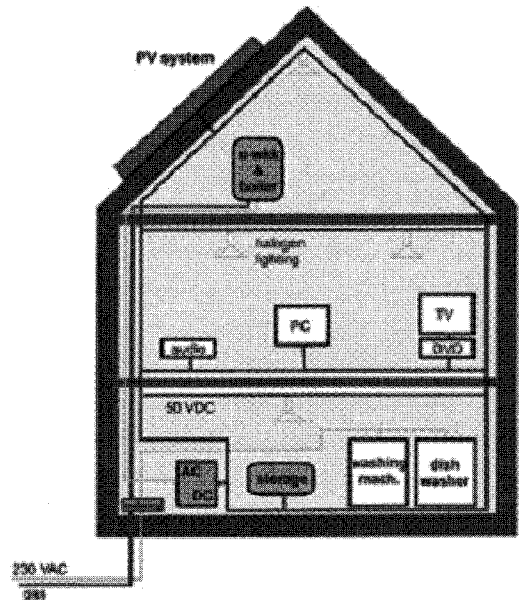


그림 1 직류주택 개념도

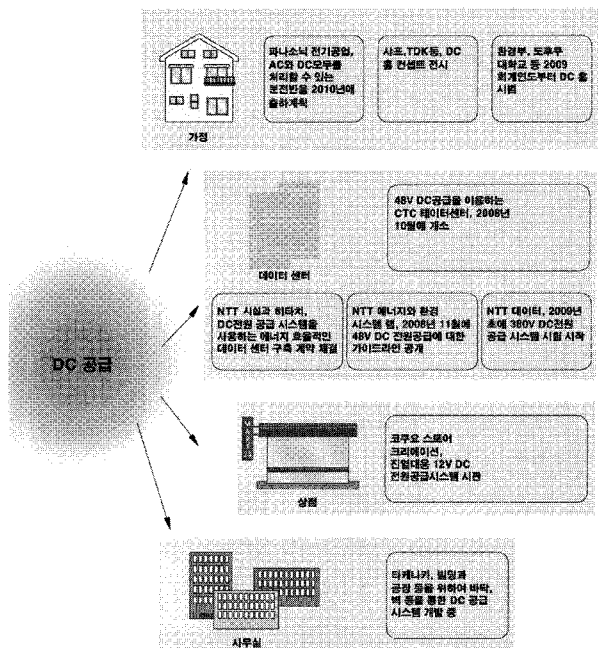


그림 2 다양한 분야의 도입활성화

대응할 수 있는 기종을 갖춰가기 시작했다. 이와 함께 NTT그룹은 그룹전체가 직류배전방식의 도입과 보급을 추진하겠다고 발표했으며 2009년초 360-380V 직류배전을 실증하기 위한 실험을 실시하고 있다. CENATEC JAPAN 2008년 전시회에서는 샤프와 TDK가 태양전지와 조합해 직류를 가정 내에 전기를 공급하는 DC홈방안을 잇달아 선보였다. 또한 파나소닉은 2010년 가정용하이브리드분전반을 시장에 출시할 계획으로 있다.

3.5 향후전망⁶⁾

일본NTT그룹 에너지연구소는 직류전원공급에 의해 데이터센터의 소비전력을 14-17% 절감할 수 있다고 한다. 이만큼의 효과가 있다면 IDC에서의 도입사례는 한층 더 늘어날 것이다. IDC에서의 채택이 활발해 지면서 사무실이나 공장, 사무실, 가정등에도 서서히 보급이 진행 될 것으로 보인다. 구체적으로는, 200V가 넘는 직류배전이 데이터센터나 산업용도로 먼저 진행되고, 이러한 용도로 안전성에 대한 확보가 이루어진 후에, 사무실 및 가정으로 도입이 확대 될 것이다.(그림 3)

가정에 직류를 공급하기 위한 주요한 열쇠는 태양전지이며 2010년에 시장에 선보일 예정인 하이브리드카나 스마트플러그(Smart Plug)개념의 전기자동차 등의 등장과 태양전지와

축전지를 조합한 시스템을 저렴하게 설치하게 되면 가정용 직류전원 공급은 한층 더 커질 것으로 예상된다.

4. 직류안전대책

직류전원 공급이 주목을 받고 있기는 하지만 도입이 보다 활성화하려면 해결되어야 할 과제가 적지 않다. 전압과 안정성이 대표적이다. 전압이 낮으면 배전 시 저항 손실이 커지며 케이블이 굵어져 이는 케이블 등의 자재비 단가 상승요인이 된다. 이로 인해 전압을 높이는 방안이 있지만 이 경우에는 아크(Arc)나 감전의 문제를 해결하여야 한다.

교류의 경우 아크가 발생 되어도 교류의 전압이 주기적으로 0V가 되기 때문에 아크를 쉽게 소호시킬 수 있다. 이에 반해 직류의 경우는 일정 전압이 유지되기 때문에 아크가 고착되고 화재가 발생할 위험이 존재한다. 정격전압과 커넥터의 형상, 안전성의 규격 등에 대해 국제적 표준이 마련되어 있지 않은 것이 현 실정이다.

4.1 인체 감전

인체감전의 영향에 관한 국제표준으로서 전기적 안전요건을 설정하기 위해 사용하는 IEC60479-1의 “인체감전의 생리학적 현상”의 일반적인 양상으로서 인체의 임피던스와 상

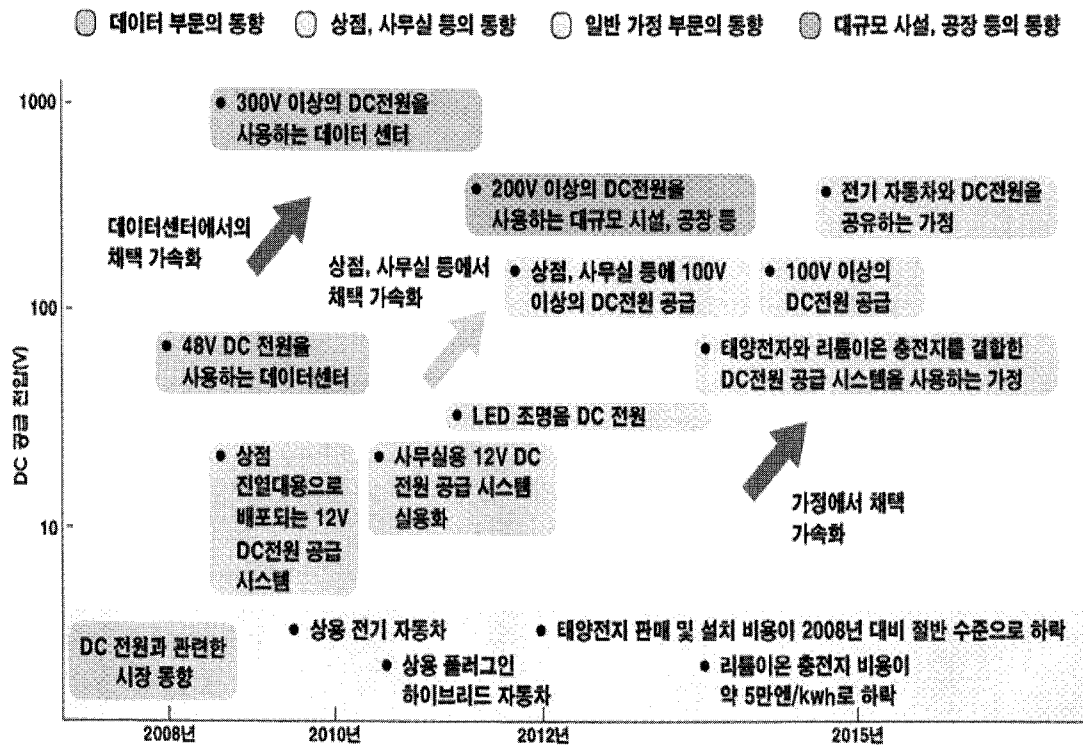


그림 3 직류도입 향후전망

용주파 교류와 직류전류에 대한 인체의 생리학적 현상을 다루고 있다.

감전보호를 실시할 경우 가장 중요한 지표는 감전전류이다. 감전전류는 감지전류, 불수의 전류, 심실세동전류의 3종류로 크게 나눌 수 있다. 인체에 전류가 흐르더라도 단지 감지하는 정도라면, 불쾌감이 남을 뿐 사망에 이르지 않는다. 문제가 되는 것은 인체에 전류가 흘러 호흡곤란과 근육수축이 발생함으로써 몸을 움직일 수 없는 경우와 심실세동으로 인해 심장이 멈춤으로써 사망에 이르는 경우이다.

그림 4와 그림 5에 나타난 그래프는, 감전전류(심실세동전류)와 작용시간의 관계를 감전의 위험도에 따라 4개의 곡선(곡선C1상부: 심장마비, 호흡정지 및 화상 또는 타세포의 손상과 같은 병태생리학적 영향이 있음) 및 5개의 영역으로 나누고 있다. 두 그림을 비교해 보면 직류에 의한 사고는 교류보다 움직인 부분의 이탈이 용이하고 심장주기보다 더 장시간의 감전 기간에 대하여 심실세동 한계전류가 교류의 경우보다 상당히 높으므로 안전하다는 사실이다.

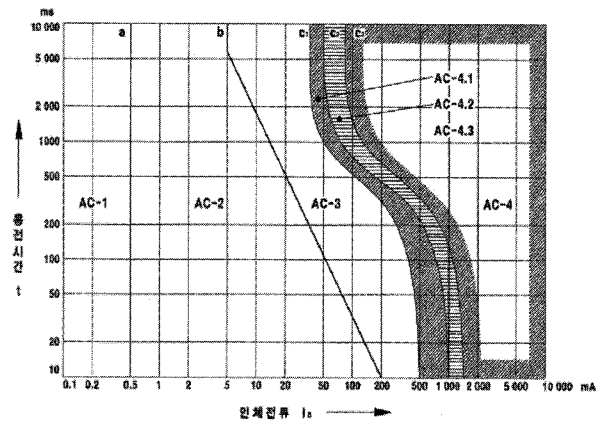


그림 4 교류

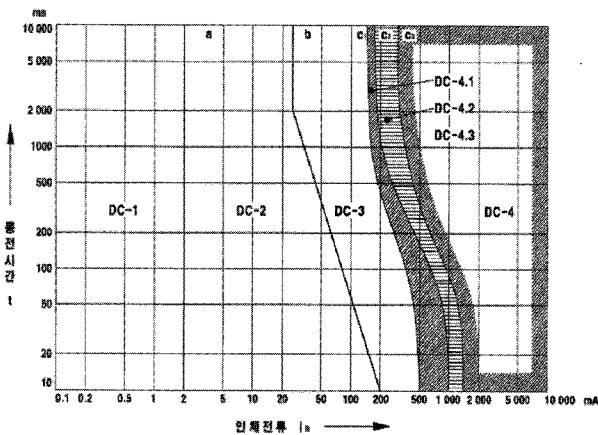


그림 5 직류

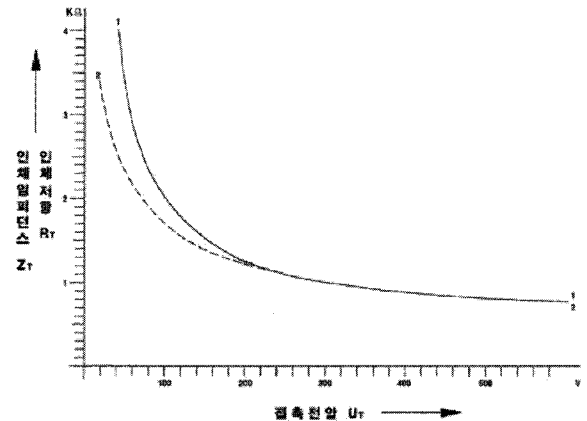
주파수영향과 관련하여 피부의 임피던스의 주파수 영향을 고려하면 인체의 총임피던스는 그림 6과 같이 직류에서는 높아지고 주파수가 증가하면 감소한다. 직류에서의 인체총저항은 사람의 피부의 커패시턴스의 특성 때문에 약 200V까지의 접촉전압에 대해서는 교류에서의 인체 총임피던스 보다 높으므로 200V이하에서는 직류가 교류보다 안전하다고 할 수 있다. 현재 국제적으로 60V이하의 DC라면 해당 인체감전에 대한 안전규제가 없다.

4.2 과전류 및 단락전류보호

직류배전시스템 구현에 일반적으로 어려운 점은 교류배전시스템에 비교하여 차단이 어렵다는 것이다. 그러나 저압에서는 직류의 차단은 문제가 되지 않으며 교류차단기 제작사에서 제공하는 적절한 교정치를 적용하여 차단정격을 조정한다면 직류차단기로 사용할 수 있다. 장한시(Long-time delay)영역에서 차단시간은 열동전자식 배선용차단기의 바이메탈 센서가 실효치전류로 작동되기 때문에 직류나 교류에서 동일하다.

그러나 순시(단락)영역에서는 차단시간이 순시치의 제공에 비례하는 전자력으로 구동되어 차단되므로 직류와 교류간에 차이가 있다. 교류 트립곡선 전류는 실효치로 표시하지만 직류의 경우는 순시치로 표시한다. 교류곡선을 직류에 적용하려면 사용자는 1.1-1.4의 상승계수를 적용하여 트립곡선을 시간-전류평면에서 우측으로 이전시켜야 할 것이다.

직류전압이 250V DC를 초과할 경우 보다 효과적으로 아크차단을 위하여 그림 7과 같이 차단극(Pole)을 직렬로 접속시켜야 한다. 국내 L사의 기술자료를 검토한 결과, 열동전자식 배선용차단기는 순시트립전류를 1.4배로 조정하여 사용이 가능하며 차단정격도 800A이하의 실용범위에서 큰 문제



1. 직류에 대한 인체저항 R
2. 교류 50Hz에 대한 인체 임피던스 Z_T

그림 6 직류와 교류의 인체저항

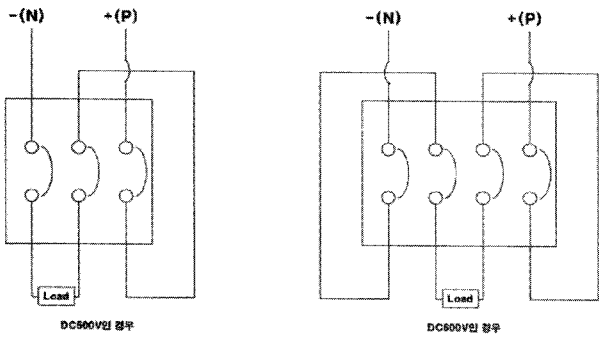


그림 7 배선용차단기의 접속

가 없을 것으로 사료된다.

4.3 직류 접지

현재 직류에서 인체감전이나 화재방지를 위하여 교류에서 사용하는 누전차단기를 사용할 수 없으며 접지방식의 선정에 명확한 기준이 없는 상황이다. 국제규격 IEC60364(저압전기설비)에서는 직류의 접지계통을 전원의 접지방식(계통접지)과 수용가 전기기기의 외함 접지방식에 따라 다음과 같이 3종류의 기본형식이 규정되어 있다.

- TN-계통: 기기외함의 접지를 독립적으로 하지 않고, 보호도체에 의해 전원의 중성점에 접속하는 방식
- TT-계통: 전원접지(계통접지)와 기기외함의 접지를 독립적으로 시설하는 방식
- IT-계통: 전원접지를 설치하지 않고, 기기 외함접지만을 설치하는 방식

TN계통의 경우 중성선과 보호도체를 겸용하는 경우에는 TN-C계통이라 하며, 중성선과 보호도체가 별개로 분리되어 포설된 경우에는 TN-S계통이라 한다.

TT방식은 1차절연사고나 누설전류가 흐르는 경우 보호관점에서 매우 유용하므로 주거용으로 적합할 것이다. 반면에 대용량 산업체의 경우 지락검출이 용이한 TN방식이 예상된

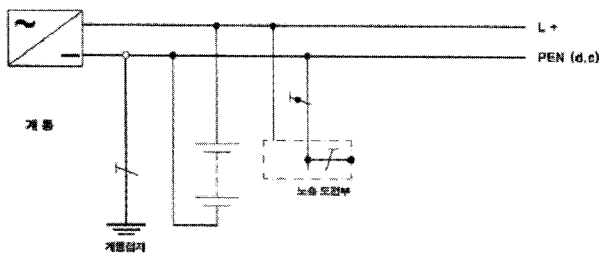


그림 8 TN-C

다. 전기의 중단 없는 공급을 위하여 일반 상업용은 IT방식이 유리할 것으로 사료된다.

그림 12에서 TT방식의 직류계통시스템을 위한 누전차단

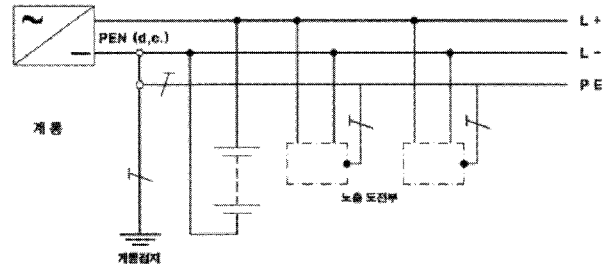


그림 9 TN-S

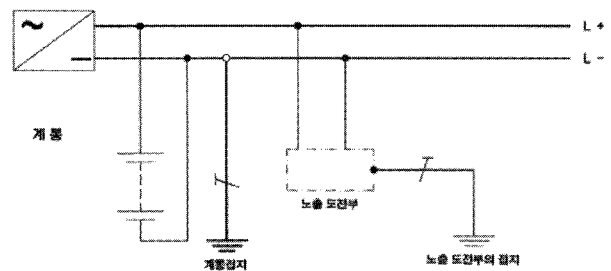


그림 10 TT

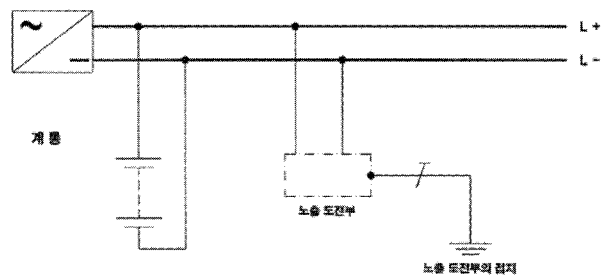


그림 11 IT

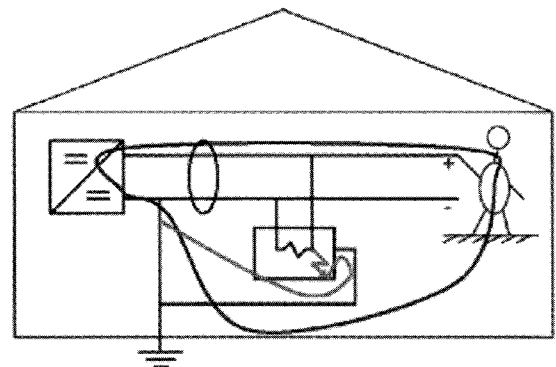


그림 12 TT방식의 고장전류귀로

기는 일정자속이 유도전압을 만들 수 없으므로 교류용 누전 차단기의 원리를 사용할 수 없다. 두 도체사이의 전류차 측정은 평상시 수A정도이나, 누전사고시 두 도체 전류차는 수 mA에 불과하기 때문에 매우 정밀도가 높은 센서측정(참고로 LEM사 DF-C10)이 필수적이다. 현재 직류 누전차단기가 상용화 되어있지 않지만, 가장 좋은 방법은 DC량에 비례하는 자속을 측정하여 전압이나 전류신호로 변환하는 것이다. 이러한 장치는 고전적 교류 누전차단기와 비교할 때 좀더 정교한 전자식이여야 하므로 보호장치의 신뢰성을 확보할 수 있도록 깊은 연구가 있어야 할 것이다.

이와 달리 IT방식의 직류계통시스템의 경우 DC절연저항을 상시 감시하여 정보나 트립하는 하는 방식을 적용시킬 수 있다.

5. 맺음말

시스템이 단순한 직류배전은 교류-직류 변환 횟수를 줄여줄 뿐만 아니라 고효율의 변환을 통해 소비전력도 절감할 수 있게 해준다. 지구 온난화에 대한 대응이 시급한 지금, 직류배전시스템은 에너지 절약에 매우 효과적인 대책이 될 수 있다. 국제적으로 60V DC이하의 경우 전기안전규제가 없으므로 우선 말단부하를 48V DC로 공급하는 직류배전시스템의 보급이 적당할 것이다. 하지만 대용량의 경우 배전손실을 줄이기 위하여 전압을 300-400V DC를 적용하여야 할 것이며, 각 응용별로 최적의 전압과 안전에 대한 규격 등의 표준화가 반드시 이루어져야 한다. 정격전압, 커넥터의 형상, 안전성의 규격 등에 대해 국제표준이 마련되어 있지 않으므로 국내에서 직류배전에 관한 연구와 표준화를 주도한다면 분산전원 및 직류분야 국제규격의 선두 주자가 될 수 있다. 또한 국내 전력전자 기술의 능력으로 볼 때 직류의 효율을 좌우하는 전력변환장치를 국제기술기준으로 개발하는 것이 가능하므로 직류배전의 보급도 가능하다. 아울러 전기안전을 위하여 직류전용 차단기와 누전차단기의 개발 및 접지방식의 심층적인 연구가 필요하다. ■

참고 문헌

- [1] 안중욱, 저전압 직류배전의 효율성과 경제성 평가, 경원대 석사논문, 2007.
- [2] Donald J. , AC Versus DC Distribution Systems-Did We Get it Right , IEEE 2007.
- [3] 손성영, 목형수, 홍준희, 교류배전시스템과 직류배전시스템이 적용된 IDC 전력효율 비교연구, 조명전기설비학회, 2008.
- [4] Peter Vaessen, DC in Households, Leonard-Energy, 2005.
- [5] Koji Kariatumari, 데이터센터에서 가정까지 DC전원, NEAKorea 2009.
- [6] Ambra Sannino, Feasibility of DC Network for Commercial Facilities , IEEE 2003.
- [7] Kristof Engelen, The Feasibility of Small-Scale Residential DC Distribution Systems , IEEE 2006.
- [8] KSC IEC60479-1 인체와 가축에 대한 전류의 영향, 2007.
- [9] KSC IEC60364 저압전기설비(구 건축전기설비), 2005.

〈 필 자 소 개 〉



이경호(李庚浩)

1960년 11월 14일생. 1986년 한양대 공과대학 전기공학과 졸업. 발송배전기술사. 한국전력기술(주) 근무. 2007년~현재 삼성물산(주) 건설부문 친환경에너지연구소 전력담당 부장.